

MEDIDA DE PARAMETROS S DE TRANSISTORES CHIP HASTA 40 GHz UTILIZANDO CALIBRACION TRL (*)

L. Pradell, C. Sabater, E. Artal, A. Comerón, J. Bará, I. Corbella, J. Fortuny

Grupo AMR. Dept. TSC. ETSET-BARCELONA
Ap. 30002, 08080 BARCELONA

ABSTRACT

The design of a Microstrip Test Fixture for TRL calibration, based on mobile, precisely positioned coax-to-microstrip transitions, is described. Experimental results for the measurement of GaAs FET and HEMT chips S-parameters in the 1-40 GHz frequency band are presented, and compared with the manufacturer's available data. Theoretical considerations and experimental results for the repeatability of transitions, based on a useful "error box" model, are also presented.

INTRODUCCION

Son bien conocidas las ventajas de la técnica de calibración TRL (Thru-Reflect-Line [1]) en la obtención de medidas precisas y repetibles de parámetros S de transistores chip MESFET y HEMT [2]. En la literatura existen numerosas referencias de Dispositivos de Calibración y Medida (Test Fixtures) en microstrip hasta 46 GHz, incluyendo los disponibles comercialmente [3] -[7]. Cuando se utiliza calibración TRL, la repetibilidad de transiciones es el factor que limita la precisión de medida, tal como puede constatarse en [8] por lo que se refiere a medidas hasta 22 GHz. Sin embargo, todavía no hay disponibles resultados experimentales en la banda milimétrica utilizando calibración TRL en microstrip.

DESCRIPCION DEL TEST FIXTURE

En la figura 1 puede observarse el Test Fixture microstrip diseñado para la medida de transistores chip entre 1 y 40 GHz utilizando calibración TRL. Son necesarios dos patrones de calibración LINE para cubrir este amplio margen, de submárgenes 1-6.5 GHz y 6-40 GHz, respectivamente (figura 2). Se seleccionaron 2 substratos, CuClad 217 ($\epsilon_r = 2.17$) y Alúmina ($\epsilon_r = 9.9$). El Test Fixture se compone de tres piezas montadas en una base común: la pared del conector de entrada, el soporte central provisto de un sistema de guiado vertical para los patrones TRL y "portador" del chip, y la pared del conector de salida. Cada pared puede posicionarse independientemente (con precisiones de 0.01 mm) a lo largo de 3 ejes ortogonales en el espacio, por medio de 3 tornillos micrométricos. El contacto de masa se consigue mediante presión horizontal justo por debajo de la línea microstrip, eliminando así virtualmente los caminos parásitos de masa. El contacto del conductor central ó "pin" con la línea microstrip se consigue mediante presión vertical. Los conectores son del tipo OS-50 (2.4 mm) de MACOM/Omnispectra, utilizables hasta 50 GHz. La figura 3 muestra las pérdidas de inserción y retorno medidas entre 45 MHz y 40 GHz, para el patrón THRU (Alúmina), incluyendo las transiciones coaxial-microstrip. Los peores valores obtenidos en dicho margen son, respectivamente, 1 dB y 17 dB. El patrón LINE presenta características similares.

MODELO DE ERROR PARA MEDIDAS DE REPETIBILIDAD

Cada paso de calibración o medida requiere posicionar los conectores de entrada y de salida y efectuar los contactos de masa y de "pin". La falta de repetibilidad de los contactos es el principal factor que limita la precisión de medida [8], puesto que introduce pequeñas variaciones en los coeficientes de error e_{ij} (figura 4) durante el proceso de calibración. El Analizador de Redes calcula dichos coeficientes utilizando los datos obtenidos en calibración y, en consecuencia comete error en los cálculos (errores "residuales" de calibración). Los errores residuales, a su vez, provocan errores en la medida de los parámetros S del dispositivo. En la figura 5 se descomponen los coeficientes de error de entrada y salida en tres "cajas", "a", "b" y "c" de coeficientes. "a" corresponde al Analizador de Redes, cables y conectores. "b" modela la transición coaxial-microstrip (contactos de masa y de "pin"). "c" tiene en cuenta la línea microstrip que va desde la transición al plano de referencia TRL. La misma descomposición es válida para la salida.

(*) Este trabajo ha sido publicado simultáneamente en la Conferencia Europea de Microondas 1990 (EuMC-90)

La repetibilidad de las transiciones coaxial-microstrip puede evaluarse aproximadamente de la siguiente manera. Primero se efectúa una calibración convencional Corto-Abierto-Carga (OSL) en los planos de los conectores coaxiales (m y m' en la figura 5). Utilizando esta calibración se mide un coeficiente de reflexión del patrón THRU (o del LINE), por ejemplo S_{11} . A continuación, se desconectan ambas transiciones (es decir, se separan las paredes soporte de los conectores de la pieza central que contiene el patrón), y se "gira" el patrón 180° , de manera que ambos extremos quedan intercambiados. Manteniendo esta posición, se conectan de nuevo ambas transiciones y se efectúa una nueva medida de S_{11} . Puede demostrarse que si las líneas microstrip y las transiciones están bien construidas (baja reflexión)^a, la diferencia entre ambas medidas es, en una aproximación de primer orden [9]:

$$S_{11}^{tf'} - S_{11}^{tf} = \Delta_{00}^b + \Delta_1^p e_{01}^b e_{10}^b \quad (1)$$

donde Δ_{00}^b , Δ_1^p se refieren, respectivamente, a las repetibilidades asociadas a los coeficientes e_{00}^b , S_{11}^p (ver figura 5). La diferencia a la izquierda de (1) expresa la medida de la repetibilidad asociada a una desconexión/conexión y un "cambio" del circuito. La expresión (1) relaciona la repetibilidad de la transición con la repetibilidad de los coeficientes de error, y nos permite calcular Δ_{00}^b si suponemos, por ejemplo que $\Delta_{00}^b = \Delta_1^p$. Si se utiliza una ventana temporal "ideal" para aislar la transición, entonces (1) se convierte en una expresión exacta. En cualquier caso, los errores residuales de calibración y los errores de medida pueden calcularse aproximadamente, si suponemos las mismas cotas de repetibilidad para el resto de coeficientes e_{ij}^b , [9].

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Utilizando el Test Fixture diseñado se midieron, mediante técnica TRL, 4 transistores chip en la banda de frecuencias 1-40 GHz: Un MESFET de bajo ruido de Fujitsu (tipo FSX03X), dos HEMT de bajo ruido de Toshiba (tipos JS-8901-AS y JS-8830-AS) y un MESFET de potencia de Toshiba (tipo JS-8864-AS). En la figura 6 se muestran los detalles de la soldadura de este último mediante hilos de termocompresión. Se utilizó el Analizador de Redes HP 8510B (que incluye el software de calibración TRL adecuado) para las medidas. En las figuras 7 y 8 se muestran los parámetros S medidos de los transistores JS-8901-AS (montado en CuClad) y JS-8864-AS (montado en Alúmina), en el margen frecuencial superior (6-40 GHz). En trazo discontinuo se muestran los datos suministrados por el fabricante, especificados hasta 22 GHz para el JS-8901-AS, y hasta 40 GHz (calculados, no medidos) para el JS-8864-AS. Con respecto al primero, se observan desviaciones muy pequeñas en módulo pero más apreciables en fase (26° a 22 GHz), de los parámetros medidos con respecto a los suministrados. Similares consideraciones pueden hacerse para el segundo transistor.

La medida de repetibilidad utilizando ventanas temporales (figura 9) es mejor de -36 dB (a 40 GHz). Se utilizó este dato para evaluar los errores residuales de calibración TRL, y se obtuvo una cota de -30 dB a 40 GHz. También se midió la repetibilidad en la medida de los parámetros S con la misma calibración TRL, en una forma similar a [8], con un resultado de -30 dB a 40 GHz.

CONCLUSIONES

Se ha presentado un Test Fixture microstrip para calibración TRL, que permite medir los parámetros S de transistores chip MESFET ó HEMT en la banda de frecuencias 1-40 GHz. Las transiciones coaxial-microstrip se posicionan independientemente de una manera muy precisa (0.01 mm) por medio de tres tornillos micrométricos, permitiendo conseguir una gran precisión y repetibilidad en las medidas. Se han obtenido resultados experimentales para 4 transistores chip de banda milimétrica en el margen 1-40 GHz, que muestran bastante coincidencia con los datos del fabricante. Se ha desarrollado un modelo de coeficientes de error que permite la evaluación aproximada de los errores residuales de calibración y de los errores de medida, a partir de los datos medidos de la repetibilidad de las transiciones. Se ha medido la repetibilidad de las transiciones utilizando ventanas temporales, obteniéndose valores mejores de -36 dB a 40 GHz. Con estos datos se ha evaluado el error residual de calibración TRL (-30 dB). También se midió la repetibilidad en la medida de los parámetros S con la misma calibración TRL, con un resultado de -30 dB a 40 GHz.

REFERENCIAS

- [1] G.F. Engen, C.A. Hoer
"Thru-Reflect-Line: An improved technique for calibrating the dual six-port automatic network analyzer"
IEEE Trans M.T.T., vol. MTT-27, no. 12, pp. 987-993, dec. 1979
- [2] HEWLETT-PACKARD Co.
Product note 8510-8
"Applying the HP 8510B TRL calibration for non-coaxial measurements"
October 1, 1987
- [3] P. Bagley Ross, B.D. Geller
"A broadband microwave test fixture"
Microwave Journal, vol. 30, no. 5, may 1987, pp. 233-248
- [4] H.F. Cooke
"A universal fixture for transistor chip and microwave amplifier measurement"
Microwave Systems News, vol. 17, no. 3, pp. 64-70, mar. 1987
- [5] R.J. Lang, W.P. Jewett, J.D. Merrill
"Test Fixtures for frequencies from DC to 75 GHz"
Microwave Journal, vol. 31, no. 5, pp. 367-371, may 1988
- [6] CASCADE MICROTECH
"MTF26. DC-26.5 GHz Microstrip Test Fixture and TRL Standards"
may, 1989
- [7] INTERCONTINENTAL MICROWAVE
"Universal Test Fixture Mainframe. Series TF-2000. DC to 40 GHz"
1989
- [8] L. Pradell, E. Artal, C. Sabater
"S-parameters measurement of chip GaAs FETs up to 22 GHz using the TRL calibration technique"
19th European Microwave Conference. Conference proceedings, pp. 576-581.
Wembley (London), 4-7 sept. 1989.
- [9] L. Pradell
"Diseño de amplificadores de bajo ruido en banda milimétrica"
Doctoral Thesis presented to the Universitat Politècnica de Catalunya. Chap. V.
Barcelona, Oct. 1989

AGRADECIMIENTO

Este trabajo ha sido realizado en el seno de los contratos "Medida de parámetros S de transistores en la banda de 30 GHz", "Caracterización no lineal de transistores MESFET en banda Ka" (1989) con Electrónica ENSA, y "Outdoor unit for the CODE earth station" (1989-1990), con Electrónica ENSA y la Agencia Espacial Europea (ESA).

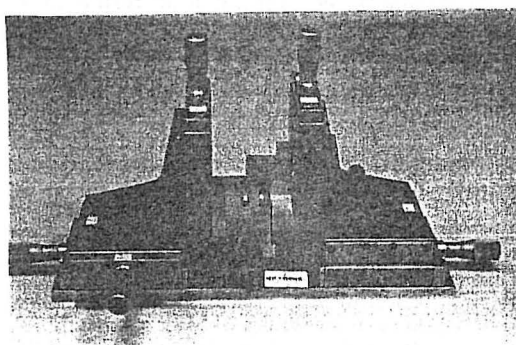


FIGURA 1 - TEST FIXTURE MICROSTRIP

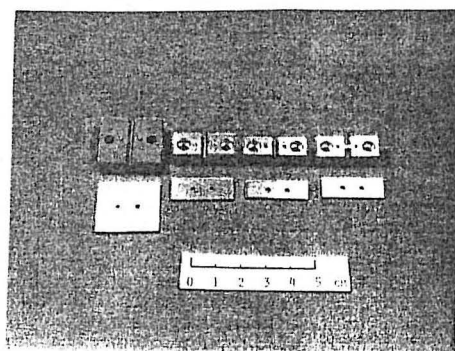


FIGURA 2 - PATRONES DE CALIBRATION TRL (CuClad).
LINES: 1-6.5 GHz Y 1-40 GHz

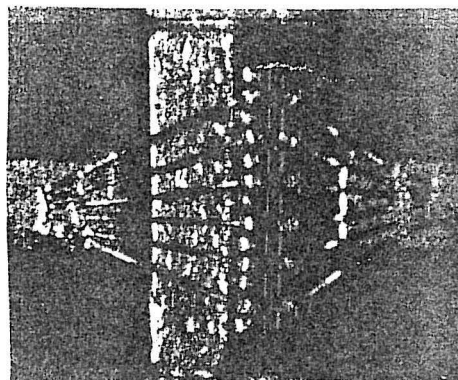
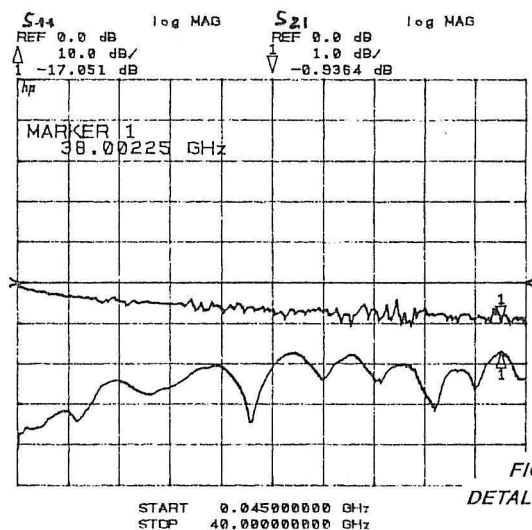


FIGURA 6 - TRANSISTOR CHIP TIPO JS-8864-AS.
DETALLE DE LAS SOLDADURAS POR TERMOCOMPRESION.

FIGURA 3 - PERDIDAS DE INSERCIÓN Y DE RETORNO
PARA EL PATRÓN THRU (ALUMINA)

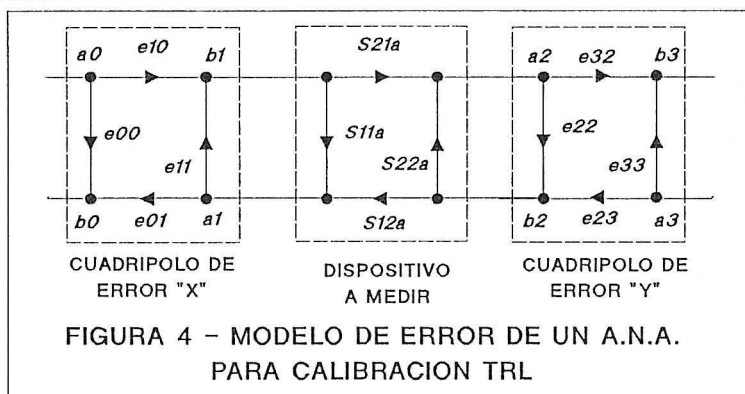


FIGURA 4 - MODELO DE ERROR DE UN A.N.A.
PARA CALIBRACION TRL

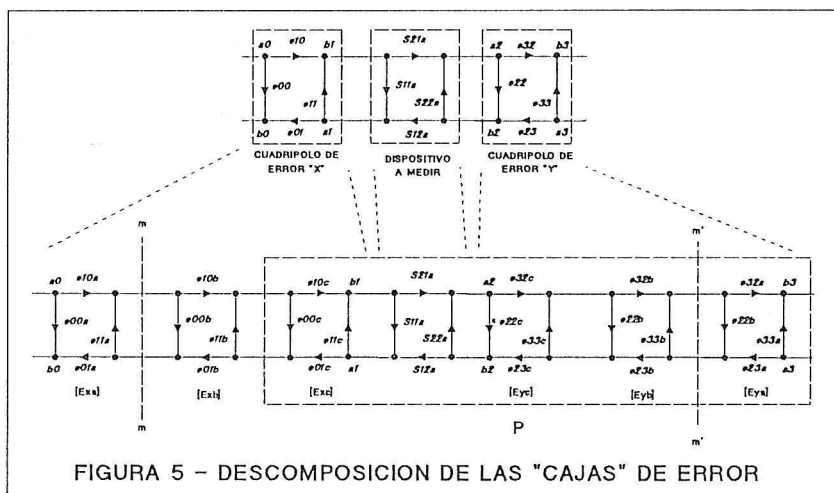
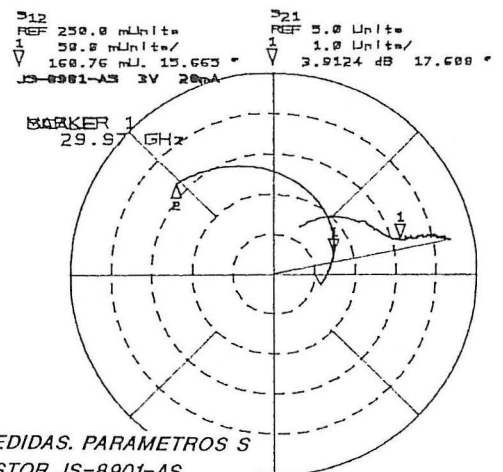
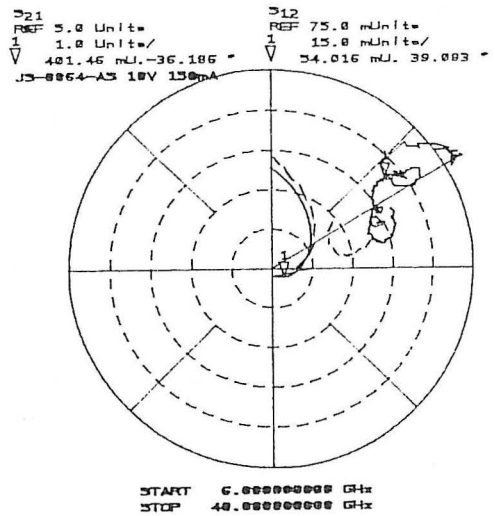


FIGURA 5 - DESCOMPOSICIÓN DE LAS "CAJAS" DE ERROR



```
START      6.000000000 GHz
STOP      40.000000000 GHz
```



MARKER 1
39.999999975 GHz

S11-M3
REF 0.0 dB
20.0 dB/
-36.537 dB

L11TF - LC11TF

L221F - LC221F